مهندسی بیوسیستم ایران، دورهٔ ۴۷، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۵ (ص ۱۱۸-۱۱۱)

طراحی، نصب و ارزیابی سردخانه کنترل خودکار اتمسفر

محمد حسین سعیدی راد[۱]*، سودابه عین افشار[۲]، سعید ظریف نشاط[۳]، صمد نظرزاده اوغاز[۴]

۱. دانشیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
۲. استادیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
۳. استادیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
۴. مربی پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۲۲- تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۵/۲۶)

چکیده

یکی از راه‌های افزایش ماندگاری محصولات کشاورزی نگهداری آن‌ها در شرایط اتمسفر کنترل شده می باشد. بدین منظور سردخانه ای مجهز به سامانه برودتی با شرایط اتمسفر کنترل شده طراحی و نصب شد که امکان تزریق CO_2، O_2 و N_2 را به‌صورت خودکار و با استفاده از سامانه فرمان پی‌ال‌سی را داشت. گازهای مورد نیاز برای تزریق توسط سه کپسول ۱۰ کیلویی تامین می‌شد. تشخیص غلظت هر یک از گازهای داخل مخزن توسط حسگرها و عمل تزریق گاز به درون مخزن توسط شیرهای برقی انجام شد. در پایان، سامانه خودکار تزریق و کنترل گازها با اعمال سه ترکیب گاز و سه دمای سردخانه مورد ارزیابی فنی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سامانه تزریق گاز با خطای میانگین ۱۷/۵۵ درصد، قابلیت تنظیم ترکیب گازهای درون محفظه سردخانه را دارا می باشد. میانگین خطای سامانه برودتی نسبت به مقدار دمای تنظیمی ۱۹/۸۷ درصد به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: افزایش ماندگاری، محصولات کشاورزی، تزریق گاز CO_2، پی‌ال‌سی

مقدمه

عمر انبارداری میوه‌ها و سبزی‌ها به فاکتورهای مختلفی از قبیل فیزیولوژی میوه‌ها و سبزی‌ها، شرایط پیش از برداشت، دما، رطوبت نسبی، اکسیژن و دی‌اکسیدکربن بستگی دارد. دمای پایین به کاهش سرعت تنفس،کنترل رشد میکروارگانیسم‌ها و به تعویق فعالیت متابولیکی بافت گیاهی کمک می‌کند. کاهش دما به میزان ۱۰ درجه سلسیوس سرعت تنفس را ۲ یا ۳ برابر کم‌تر می‌کند. شدت تنفس در گیاهان و بر حسب اندام‌های مختلف، متفاوت است ولی در هر حال در مقایسه با تنفس جانوران، تنفس در گیاهان بسیار ضعیف است. در گیاهان، اندام های در حال رشد و جوان و در دانه‌های در حال رویش، میزان تنفس بالاتر است. همچنین در گل‌های در حال باز شدن و به-ویژه در اندام‌های تولید مثلی، تنفس شدیدتر است به همین دلیل ماندگاری این اندام ها نیز کمتر می باشد. عواملی از قبیل غلظت اکسیژن، دی‌اکسیدکربن، نیتروژن و دما بیشترین تاثیر را بر ماندگاری محصول دارند و با کنترل هر یک از این عوامل می‌توان عمر انبارداری محصول را افزایش داد. در شرایط اتمسفر کنترل شده با کنترل هر یک از این عوامل در محدوده موردنظر تا حد زیادی می‌توان فعل و انفعالات شیمیایی را محدود نموده و بر مدت زمان نگهداری محصول مورد نظر افزود (Arthey and Dennis, 1991).

نتایج تحقیقات نشان داده است که کاهش غلظت اکسیژن از ۲۱ درصد به ۲ درصد باعث کاهش سوخت‌وساز به میزان تقریباً ۳۰ درصد می‌شود. غلظت CO_2 بیش از ۲۰ درصد بر روی سرعت تنفس اثر منفی دارد و بسته به نوع مواد گیاهی و غلظت اکسیژن ممکن است تنفس بی‌هوازی تشدید گردد. اثر بازدارندگی CO_2 بر روی سرعت تنفس کاملاً مشخص نیست، چون غلظت بالای CO_2 بسته به نوع محصول و مرحله رشد اثرات متفاوتی خواهد داشت. اندازه‌گیری جذب اکسیژن در بعضی از محصولات نشان می‌دهد که غلظت بالای CO_2 سرعت تنفس را کاهش می‌دهد ولی در محصولاتی چون کاهو، اسفناج و کدو موجب تغییرمحسوسی نمی‌گردد (Mittal, 1997).

استفاده از اتمسفر کنترل شده برای نگهداری میوه‌ها و سبزی‌های تازه در اغلب تحقیقات قرن بیستم مورد توجه بوده است. نتایج نشان داده که این روش در افزایش عمر و کیفیت پس از برداشت محدوده وسیعی از میوه‌ها و سبزی‌های تازه مؤثر می‌باشد. انبار با اتمسفر کنترل شده، زمانی مؤثر خواهد بود که با کنترل دما همراه باشد. بنابراین مقادیر گاز و درجه حرارت

* نویسنده مسئول: Saiedirad@yahoo.com

در این فن آوری از اهمیت زیادی برخوردار است. علت افزایش استفاده تجاری از این فن آوری در سال‌های اخیر، نگهداری میوه ها و سبزیجات تازه خارج از فصل و پاسخ به نیاز مشتریان برای انواع میوها و سبزی‌ها در طول سال می‌باشد. علت دیگر استفاده از این فن آوری، عدم استفاده از مواد شیمیایی در مواد غذایی مورد مصرف است.

ترکیب هوا شامل ۷۸ درصد ازت، ۲۱ درصد اکسیژن و مابقی را گازکربنیک و گازهای دیگر تشکیل می‌دهند. با افزایش متناسب دی‌اکسیدکربن و کاهش اکسیژن میزان تنفس کاهش یافته و زمان ماندگاری طولانی‌تر می‌شود، اما باید کنترل صحیح صورت گیرد تا از بی‌نظمی فیزیولوژیک در بافت‌های زنده و فساد ثانوی توسط میکروارگانیسم‌های غیرهوازی جلوگیری شود (Fellows, 1990).

مصری‌ها و سامری‌ها دو قرن پیش از میلاد از سنگ آهک درون دخمه‌های نگهداری میوه برای افزایش عمر آن‌ها استفاده می‌کرده‌اند. این کار با محبوس کردن گاز درون این دخمه‌ها و سردابه‌ها صورت می‌گرفته است. با استفاده از این روش میزان اکسیژن کاهش یافته و عمر نگهداری میوه‌ها افزایش یافته است. این روش که در قرن نوزدهم مورد استفاده قرار می‌گرفته بنیان علم نگهداری میوه‌ها و سبزیجات را که همان آگاهی از علم تنفس میوه‌ها است تشکیل می‌دهد (Kader, 1986).

تعدادی از محققین گزارش داده‌اند که غلظت های کم‌تر از ۱ درصد اکسیژن و بیشتر از ۱۵ درصد دی‌اکسیدکربن غلظت‌های بحرانی برای محصولات کشاورزی می‌باشند. محدوده تحمل‌پذیری نسبت به اکسیژن کم و دی‌اکسیدکربن زیاد، به چندین متغیر از جمله دما، شرایط فیزیولوژیکی، بلوغ و فرآیندهای مقدماتی حداقل بستگی دارد. به‌طور کلی سطح دی-اکسیدکربن بیشتر از ۱۰ تا ۱۵ درصد اگرچه می‌تواند از رشد میکروارگانیسم‌های فاسدکننده جلوگیری کند اما سبب آسیب فیزیولوژیک بر محصولات حساس به دی‌اکسیدکربن می‌شود. سطح اکسیژن کم‌تر از ۱ درصد نیز باعث بی‌هوازی شدن تنفس می شود (Lopez *et al*., 1993 , Antmann, 2008 & Exama *et al*., 1993).

در تحقیقی تجهیزات آزمایشگاهی مخصوصی جهت نگهداری میوه موز با امکان کنترل دی‌اکسیدکربن، اکسیژن و اتیلن طراحی شد. محققین جهت نگهداری میوه موز و کنترل سرعت رسیدگی آن از یک محفظه آزمایشگاهی ۲۵ لیتری از جنس پلاستیک شفاف استفاده نمودند. محفظه موردنظر دارای یک فن بوده تا گازها را به خوبی با هم مخلوط کند. یک دریچه برای نمونه‌برداری از گازهای داخل مخزن و دریچه‌های ورودی و خروجی برای تنظیم میزان گاز درون مخزن و کنترل اتمسفر درون آن تعبیه شده بود. در ابتدای کار پمپ مکشی شروع به کار کرده تا هوای داخل مخزن را از آن خارج سازد؛ سپس به مدت ۵ دقیقه هوایی که ترکیب آن از قبل مشخص شده بود به داخل مخزن تزریق شده تا با توجه به عایق‌بندی‌های انجام شده فشار درون آن به حد مورد نظر برسد. نتایج نشان داد که بهترین دما برای کنترل سرعت رسیدگی ۲۵ درجه سانتی‌گراد بوده و تزریق اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و اتیلن در تکمیل فرآیند رسیدگی مؤثر می‌باشد (Fabio *et al*., 2008).

نگهداری بهتر و زمان طولانی تر بسیاری از محصولات کشاورزی نیازمند نگهداری در شرایط اتمسفر کنترل شده می باشند. سردخانه های کنترل اتمسفر در مقیاس های صنعتی هم اکنون موجود بوده و محصولاتی که ترکیب مناسب گازها برای نگهداری آن طی مراحل پژوهشی به دست آمده است در این سردخانه ها نگهداری می کردند. به منظور تعیین ترکیب مناسب گازها برای محصولات داخلی، نیازمند پژوهش های جدید بوده که این مستلزم وجود یک سردخانه آزمایشگاهی با امکان تغییر و کنترل گازها است. لذا هدف از اجرای این تحقیق طراحی و ساخت سردخانه آزمایشگاهی با امکان کنترل گازهای داخل آن می‌باشد. این سردخانه شامل یک محفظه مجهز به سامانه برودتی (۵-۰ درجه سانتی‌گراد) با امکان تزریق و کنترل غلظت گازهای CO_2 ، O_2 و N_2 به‌صورت خودکار است. از گاز N_2 به عنوان پرکننده استفاده شده و با انتخاب غلظت های CO_2 ، O_2، غلظت گاز N_2 تا رسیدن به فشار اتمسفر تنظیم می گردد.

مواد و روش ها

در مرحله اول سردخانه مورد نیاز با ظرفیت داخلی ۰/۷۸ متر مکعب و محدوده دمایی ۵-۰ درجه سانتیگراد و امکان قرار گیری تعداد شش سینی هرکدام به مساحت ۰/۵ متر مربع توسط شرکت سازنده یخچال های صنعتی (گروه تولیدی محمد زاده) به صورت سفارشی و با رعایت شرایط لازم برای نصب تجهیزات مورد نیاز ساخته شد. اندازه ذکر شده بر اساس یخچال های صنعتی تولیدی و مورد استفاده در بخش های تجاری و همچنین ظرفیت قرارگیری چند نمونه محصول انتخاب گردید. این سردخانه مجهز به سامانه سرمایشی رایج در کلیه یخچال های صنعتی و خانگی، شامل یک کمپرسور، کندانسور و اواپراتور بوده و برای عایق نمودن بدنه سردخانه، بین دیواره‌ها فوم تزریق شد. برای ساخت درب های سردخانه نیز از شیشه‌های دوجداره و درب های آهنربایی به همراه دستگیره‌های قفل شونده استفاده شد. به منظور افزایش عایق‌بندی درب ها، فاصله بین

درب و بدنه سردخانه با نوارهای لاستیکی ارتجاعی پر شد (شکل ۱- الف).

در مرحله بعد، سامانه تزریق گازهای CO_2 ، O_2 و N_2 (شامل مخازن، شیرهای برقی، شیلنگ ها و اتصالات مربوطه) و همچنین مدار فرمان شامل (حس گر اکسیژن، حس گر دی اکسید کربن، حس گر فشار و دما)، و مدار قدرت شامل (سوییچ اصلی برق، شستی‌های فرمان، لامپ‌های سیگنال و میکروسوییچ‌ها) بر روی سردخانه طراحی و نصب گردید. با توجه به این‌که گاز N_2 به عنوان پرکننده استفاده می شود، میزان تزریق این گاز بر اساس فشار داخل محفظه تنظیم می‌گردید. مجموعه کنترل کننده قابل برنامه نویسی (PLC[1]) شامل منبع تغذیه، ماشین PLC و مبدل آنالوگ به دیجیتال می‌باشد. ماشین PLC از نوع LOGO انتخاب شد که زبان برنامه نویسی آن FBD[2] بود.

برای کالیبراسیون و همچنین ارزیابی عملکرد سامانه تزریق خودکار و اندازه گیری درصد گازهای موجود در داخل سردخانه، از یک دستگاه گاز آنالایزر مدل WITT که قابلیت اندازه گیری دو گاز CO_2 , O_2 را با دقت ۰/۱ درصد را داشت و همچنین از یک فشارسنج اختلافی ساخت شرکت TESTO با دقت ۱ پاسکال استفاده شد.

به منظور ارزیابی سامانه خودکار تزریق گازهای CO_2 ، O_2 و N_2 تاثیر تیمارهای دما در سه سطح (۱، ۳ و ۵ درجه سلسیوس) و درصد ترکیب گازها در سه سطح (۱۰،۲۰ و ۷۰)، (۲۵، ۱۰ و ۶۵) و (۵۰ ، ۵ و ۴۵) درصد به ترتیبب برای CO_2 ، O_2 و N_2 بر میزان خطای سامانه برودتی، تاخیر زمانی در قطع سامانه برودتی، میزان خطای سامانه تزریق خودکار نسبت به غلظت تنظیمی و تاخیر زمانی در قطع سامانه پس از رسیدن به غلظت مورد نظر، در قالب آزمایش فاکتوریل و با استفاده از طرح آماری کاملا تصادفی در سه تکرار بررسی شد. تاخیر زمانی در قطع دو سامانه برودتی و تزریق خودکار، از زمان رسیدن دما و غلظت گازها به محدوده تنظیمی تا زمان صدور فرمان قطع توسط پی ال سی، بوسیله یک زمان سنج دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ ثانیه اندازه گیری شد. برای محاسبه میزان خطای دو سامانه برودتی و سامانه تزریق گاز از روابط زیر استفاده شد. در این تحقیق تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS(16) و رسم نمودار ها با استفاده از نرم افزار Excel(2007)انجام گردید.

$$E = \frac{T_a - T_m}{T_a} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$E = \frac{D_a - D_m}{DT_a} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

که در آن‌ها: E، T_a ، T_m، D_a و D_m به ترتیب میزان خطا، دمای تنظیمی، دمای اندازه گیری شده، غلظت تنظیمی و غلظت اندازه گیری شده می باشد.

طراحی و نصب سامانه تزریق گاز

برای تامین سه گاز دی اکسید کربن، نیتروژن و اکسیژن از سه مخزن ۵۰ کیلوگرمی استفاده و اتصال آن ها به داخل محفظه مخزن سردخانه توسط رگولاتور و شیلنگ انجام و از شیر برقی برای تنظیم میزان تزریق استفاده شد. به منظور تخلیه گازهای درون مخزن در ابتدای شروع به کار سامانه، از یک پمپ مکشی استفاده شد (شکل ۱-ب). با توجه به این که حجم داخلی سردخانه۷۸۰ لیتر بود، میزان هر یک از گازهای مورد نیاز برای پر کردن این انبار در جدول (۱) آورده شده است.

تشخیص میزان هر یک از گازهای درون مخزن توسط سه حس گر با مشخصات ذکر شده در جدول (۲) و عمل تزریق گاز به درون مخزن توسط شیرهای برقی انجام شد تا بتوان با بیش-ترین دقت ممکن مقدار گازهای مورد نظر را به درون مخزن تزریق نمود. علاوه بر این، شیرهای برقی این امکان را فراهم می‌آوردند که بتوان از آن‌ها به عنوان عملگر در مدارهای فرمان استفاده نمود. با شروع کار مدار فرمان، یک پمپ مکنده تا حد ممکن گازهای درون مخزن را تخلیه کرده تا در ادامه میزان دقیقی از گازهای مورد نظر به صورت خودکار وارد محفظه سردخانه شود.

لازم به توضیح است که امکان تهیه حس گر دی اکسید کربن جهت اندازه گیری غلظت گاز در محدوده ۵۰٪ در داخل کشور وجود نداشت، لذا حس گر دی اکسید کربن ذکر شده در جدول (۲) به اجبار انتخاب گردید. هرچند که دامنه اندازه گیری عنوان شده توسط کارخانه سازنده این حس گر حداکثر ۱۰۰۰۰ پی پی ام را نشان می دهد ولی با توجه به این که خروجی ولتاژ حس گر دی اکسید کربن به صورت خطی می باشد، خروجی مورد نظر با استفاده از یک برد الکترونیکی شکل (۳) گرفته شد و غلظت گاز داخل محفظه سردخانه در محدوده مورد نظر اندازه گیری گردید.

طراحی و نصب سامانه کنترلی

پی‌ال‌سی طبق برنامه‌ایی که برای آن نوشته شده است، به عملگرها فرمان می‌دهد تا میزان مناسبی از هر یک از فاکتورهای کنترلی درون سردخانه را برقرار نمایند. هرگاه تغییری در ترکیب گازها یا فشار در سردخانه ایجاد شود، حس

1. Programmable Logic Controller
2. Function Block Diagram

گرها آن را تشخیص داده و به قلب دستگاه که همان پی ال سی می باشد اعلام می‌نمایند. پی‌ال‌سی به عملگرها دستورات لازم را داده تا شرایط به حالت مورد نظر بازگردد. برای مدار فرمان از پی‌ال‌سی لوگو که کوچک‌ترین پی‌ال‌سی ساخت شرکت زیمنس می‌باشد استفاده شد. پی‌ال‌سی قلب دستگاه است و طبق برنامه کاری که برای آن نوشته شده است مدیریت کل سامانه را بر عهده دارد و با توجه به اطلاعاتی که از حس گرها دریافت می کند در هر زمان تصمیمات لازم را گرفته و به عملگرها دستور می‌دهد تا با انجام فعالیت مناسب در زمان مورد نظر شرایط درون مخزن را تحت کنترل داشته باشند. برنامه کاری پی‌ال‌سی با استفاده نرم افزار Siemens Logo Soft نوشته شد. پشت هر یک از درب های سردخانه یک میکروسوییچ نصب شد که با باز شدن درها، فرمان قطع تزریق گازها توسط پی‌ال‌سی صادر و شروع مجدد آن نیز نیازمند استارت سامانه توسط اپراتور می‌باشد.

ب الف

شکل۱- الف. سردخانه کنترل اتمسفر ب: کپسول های گاز

جدول ۱- مشخصات گازها مورد نیاز برای تزریق

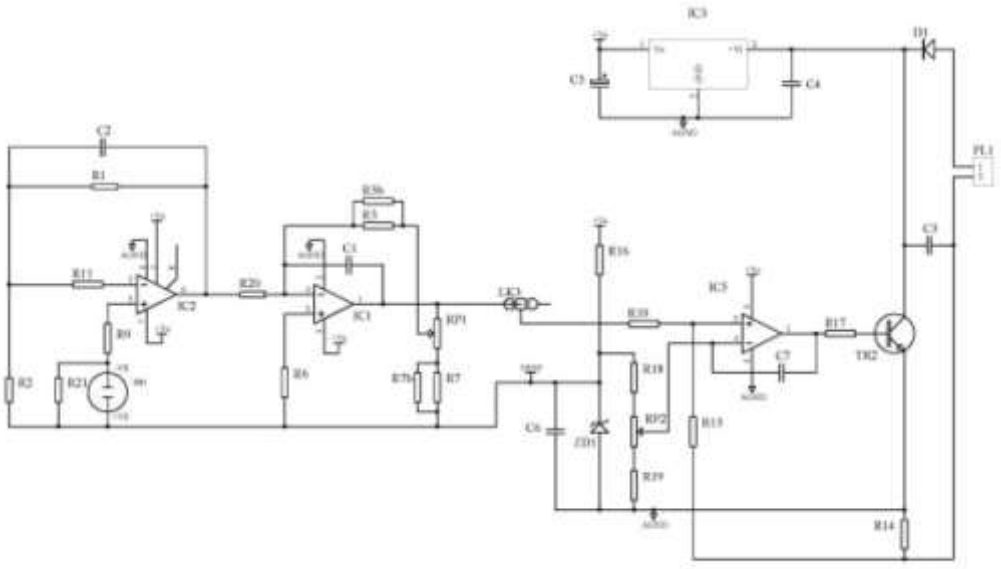
نوع گاز	وزن مولکولی	جرم حجمی (gr/lit)	ترکیب گازها در سردخانه (٪)	مقدار وزنی مورد نیاز (gr)
اکسیژن	۳۲	۱/۴۲۹	۵	۵۵/۷۳۱
نیتروژن	۲۳/۰۲	۱/۲۵۰۲	۴۵	۴۸۷/۵۷۸
دی‌اکسیدکربن	۴۴/۰۱	۱/۹۹۷	۵۰	۷۰۰/۹۴۷

جدول۲- مشخصات حس گرهای مورد استفاده

نوع حس گر	حس گر دی اکسید کربن	حس گر اکسیژن	فشار سنج
مدل	Mg811	O_2A_2	BT210
دامنه اندازه گیری	۳۵۰-۱۰۰۰۰ ppm	۰-۲۰/۹ ٪	۱-۶۰۰bar
خروجی	۰-۱۰ V	۰-۱۰ V	۴-۲۰mA
منبع تغذیه	۱۲VDC	۱۲VDC	۲۴VDC

به منظور گرفتن خروجی از حس گرهای دی اکسید کربن و اکسیژن از یک مدار الکترونیکی استفاده شد. خروجی این مدار شامل دو خط ولتاژ صفر تا ۵ ولت است که هر یک مربوط به یکی از سنسورهای گاز می‌باشند. با تغییر غلظت گاز

اکسیژن درون مخزن از ۰ تا ۲۱ درصد ولتاژ خروجی از مدار الکترونیک بین صفر تا ۱۰ ولت تغییر خواهد کرد و چنانچه غلظت دی‌اکسیدکربن موجود در مخزن بین صفر تا ۴۵ درصد تغییر کند ولتاژ خروجی مربوط به حس گر دی‌اکسیدکربن نیز بین صفر تا ۵ ولت تغییر خواهد کرد. شکل‌های (۲و ۳) نقشه و برد الکترونیک مربوط به حس گرها را نشان می دهد.



شکل ۲. مدار الکترونیک سنسورهای گاز

شکل ۳- برد الکترونیک حس گرهای اکسیژن و دی اکسید کربن

شکل ۴- جعبه مدار فرمان و قدرت شامل (پی ال سی ، منبع تغذیه، شیرهای برقی، رله ها، کنتاکتور و سویچ های اصلی و فرمان)

عملگرهای دستگاه عبارت بودند از پمپ مکشی و سه شیر برقی که گاز را به درون مخزن تزریق می‌کنند. رله‌ها فرمان لازم را از پی‌ال‌سی دریافت کرده و با تحریک شدن بوبین آن‌ها شیرهای برقی تحریک می‌شوند. پمپ مکشی با برق ۲۲۰ ولت کار می‌کند بنابراین برای راه‌اندازی آن از یک کنتاکتور استفاده شد که فرمان لازم را از یک رله و رله نیز از پی‌ال‌سی دریافت می‌کند.

با چرخاندن سوییچ اصلی، برق وارد سامانه می‌شود و از این پس با زدن کلید Start پمپ مکشی برای مدت ۵ دقیقه شروع به کار می کند تا حد لازم گازهای درون مخزن را تخلیه نماید. بعد از پایان کار پمپ مکشی، شیرهای برقی شروع به کار کرده و سه گاز اکسیژن، نیتروژن و دی‌اکسیدکربن به صورت کنترل شده به درون مخزن تزریق شد. علاوه بر روش خودکار تنظیم میزان گازهای درون دستگاه این امکان فراهم شده است که با استفاده از سوییچ‌های فرمان به صورت دستی گاز را درون مخزن تزریق نمود. در ادامه چنانچه هر یک از درب های دستگاه به هر علتی باز شود، تزریق گاز قطع شده و به محض بسته شدن درب، دستگاه کار خود را از ابتدا و با تخلیه گاز توسط پمپ مکشی ادامه می داد. همچنین اپراتور این امکان را خواهد داشت تا در صورت لزوم با زدن کلید Stop دستگاه را خاموش نموده و با زدن استارت مجدداً آن را راه‌اندازی نماید.

برای نمونه‌گیری از محیط درون مخزن بدون این که درهای آن باز شود و باعث به هم خوردن تعادل اتمسفر داخل آن شود، از یک بالن لاستیکی استفاده شد که دارای دو سوپاپ یک طرفه در دو انتها است. با فشردن بالن هوای درون آن در محیط تخلیه می‌شود و با رها کردن آن هوا از درون مخزن مکیده می شود که با استفاده از سوزن نوک گاز آنالایزر می‌توان نسبت گازهای درون بالن را بررسی کرد که نماینده ترکیب گازهای درون یخچال است (شکل ۵).

شکل۵- دستگاه گاز آنالایزر، بالن لاستیکی و فشار سنج نصب شده بر روی بدنه سردخانه

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی فنی دستگاه که در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با آزمایش فاکتوریل انجام شد نشان داد که تیمار دمای سردخانه تاثیر معنی داری بر تاخیر زمانی در قطع سامانه برودتی و همچنین تاخیر زمانی در قطع سامانه تزریق گاز پس از رسیدن به غلظت مورد نظر در سطح احتمال ۱٪ دارد. همچنین نتایج حاصل از آنالیز واریانس (جدول۳) نشان می دهد که تاثیر تیمار ترکیب گازها بر چهار صفت مورد مطالعه معنی دار بوده و اثر متقابل دمای سردخانه در ترکیب گازها تاثیر معنی داری بر هیچ یک از صفات ندارد.

نتایج حاصل از آزمون مقایسه میانگین ها که در سطح احتمال ۵٪ انجام گردید (جدول ۴) نشان داد که افزایش دما تاثیر چندانی بر خطای دو سامانه و همچنین تاخیر زمانی در قطع آن ها نداشته است ولی با افزایش نسبت CO_2 در مقایسه با دو گاز دیگر، خطای سامانه برودتی افزایش می یابد و از طرف دیگر تاخیر زمانی در قطع سامانه برودتی کاهش پیدا می کند (شکل های ۷ و ۸) . از آنجا که گاز CO_2 در سردخانه ها به عنوان سرماساز استفاده می شود و تزریق این گاز موجب کاهش شدید دما در داخل محفظه سردخانه شده و از طرف دیگر سامانه برودتی خود سردخانه نیز در حال کار می باشد لذا تداخل این دو سامانه موجب می گردد تا دمای داخل محفظه سردخانه به سرعت کاهش یافته و موجب افزایش تاخیر زمانی در قطع سامانه از زمان رسیدن دما به مقدار تنظیمی گردد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که سامانه تزریق گاز با خطای میانگین ۱۷/۵۵ درصد، قابلیت تنظیم ترکیب گازهای درون محفظه سردخانه را دارا می باشد. میانگین خطای سامانه برودتی نسبت به مقدار دمای تنظیمی ۱۹/۸۷ درصد به دست آمد. همچنین میانگین تاخیر زمانی در قطع سامانه‌های برودتی و تزریق گاز به ترتیب ۵۰/۰۷ و ۳۵/۲۵ ثانیه به دست آمد.

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات)

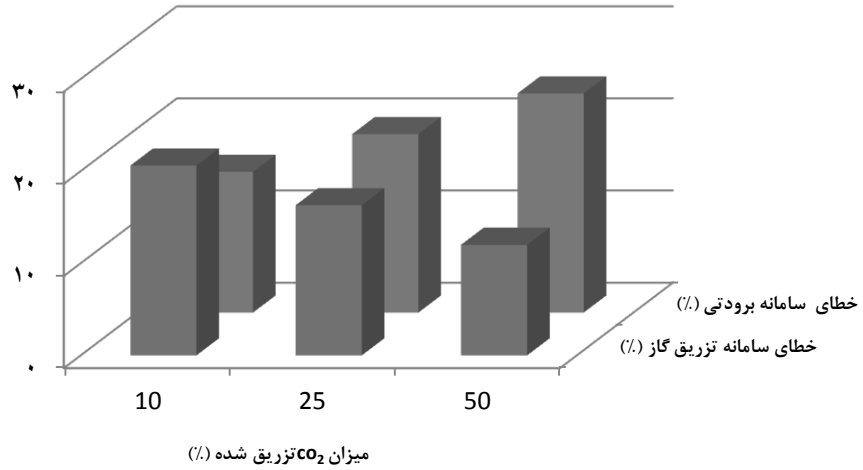
	درجه آزادی	خطای سامانه برودتی	خطای سامانه تزریق گاز	تاخیر زمانی در قطع سامانه برودتی	تاخیر زمانی در قطع سامانه تزریق گاز
دمای سردخانه	۲	۲/۱۰ ns	۱/۹۸ ns	۵۵۵/۸۱**	۴۴۲/۸۱*
ترکیب گازها	۲	۱۶۳/۳۶*	۲۵۵/۸۳*	۱۵۸۶/۸۱*	۶۶۱/۱۵*
دمای سردخانه×ترکیب گازها	۴	۳/۳۵ ns	۴/۵۵ ns	۸۳/۶۵ ns	۴۱/۱۵ ns
خطا		۱/۲۸	۱/۸۲	۳۶/۴۴	۱۹/۰۴

* : اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد ns : عدم وجود اختلاف معنی دار

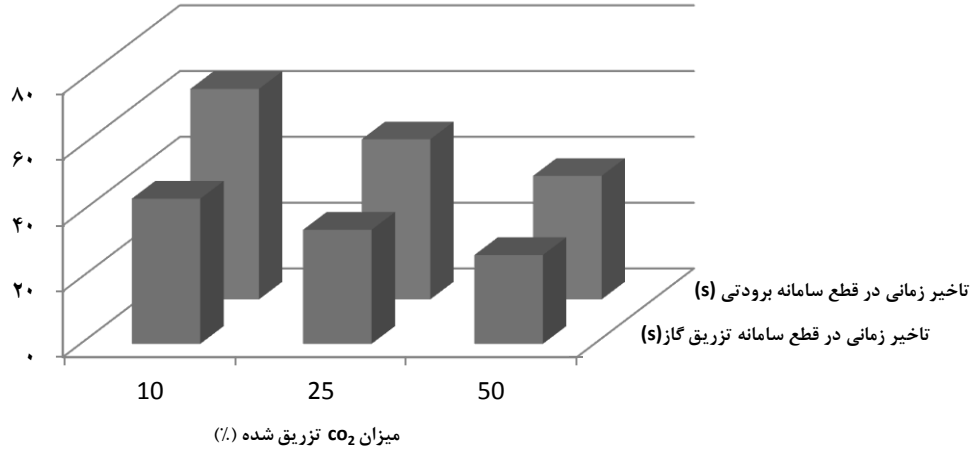
جدول ۴- نتایج آزمون مقایسه میانگین ها در سطوح مختلف متغیرها با استفاده از آزمون دانکن .

متغیرها	سطوح	خطای سامانه برودتی (%)	خطای سامانه تزریق گاز(%)	تاخیر زمانی در قطع سامانه برودتی (s)	تاخیر زمانی در قطع سامانه تزریق گاز (s)
دمای سردخانه (درجه سلسیوس)	۱	۱۹/۱۱ a	۱۷/۹۹ a	۴۱/۰۰a	۳۰/۶۶ a
	۳	۲۰/۰۳ a	۱۷/۸۰ a	۵۴/۵۵ b	۴۳/۳۳ b
	۵	۱۹/۳۱ a	۱۷/۱۰ a	۵۴/۶۷ b	۳۱/۷۸ a
ترکیب گازها (درصد) (N_2,O_2,CO_2)	(۱۰،۲۰،۷۰)	۱۵/۲۷a	۲۰/۶۰a	۶۴/۰۰a	۴۴/۱۱a
	(۲۵،۱۰،۶۵)	۱۹/۳۸b	۱۶/۳۰b	۴۸/۶۷b	۳۴/۶۶b
	(۵۰،۵،۴۵)	۲۳/۷۹c	۱۲/۰۰c	۳۷/۵۵a	۲۷/۰۰c

اعداد با حروف مشابه برای هر تیمار در هر ستون حاکی از عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است .



شکل ۷- تاثیر افزایش درصد CO_2 بر خطای سامانه های برودتی و تزریق گاز



شکل ۸- تاثیر افزایش درصد CO_2 بر تاخیر زمانی در قطع سامانه های برودتی و تزریق گاز

با توجه به این که محفظه سردخانه ای ساخته شده به صورت سفارشی و توسط شرکت سازنده سردخانه های صنعتی ساخته شده بود، این محفظه سردخانه ای از لحاظ عایق بندی هوایی به خوبی طراحی و ساخته نشده و استفاده از فوم و نوارهای درزگیر نیز نتوانست عایق‌بندی را بخوبی انجام دهد و پس از مدتی ترکیب گازهای داخل محفظه تغییر می کرد که سامانه کنترل خودکار بر اساس دستور حس گرهای نصب شده در داخل محفظه، فرمان تزریق گاز را صادر می نمود، پس از هر بار تزریق، تا رسیدن محفظه به حالت تعادل زمانی کوتاهی سپری می شود و در لحظه تزریق دی اکسید کربن دمای محفظه سردخانه به سرعت به اندازه ۳-۲ درجه پایین می آمد که می تواند موجب وارد آمدن تنش به محصول گردد. دستیابی به نتیجه مطلوب تر، نیازمند طراحی و ساخت مجدد محفظه سردخانه با عایق بندی هوایی مناسب می باشد.

نتیجه‌گیری

موارد زیر را می‌توان از ارزیابی فنی و عملکردی دستگاه نتیجه گرفت:

- دمای سردخانه تاثیر معنی داری بر تاخیر زمانی در قطع سامانه برودتی و همچنین تاخیر زمانی در قطع سامانه تزریق گاز پس از رسیدن به غلظت مورد نظر دارد.
- با افزایش نسبت CO_2 نسبت به دو گاز دیگر، خطای سامانه برودتی افزایش می یابد و از طرف دیگر

تاخیر زمانی در قطع سامانه برودتی کاهش پیدا می کند. کاهش شدید دما در داخل محفظه سردخانه با تزریق گاز CO_2 موجب افزیش خطای سامانه برودتی می‌شود.

- سامانه تزریق گاز با خطای میانگین ۱۷/۵۵ درصد قابلیت تنظیم ترکیب گازهای درون محفظه سردخانه را دارا می باشد. میانگین خطای سامانه برودتی نسبت به مقدار دمای تنظیمی ۱۹/۸۷ درصد به دست آمد.
- ساخت محفظه سردخانه بصورت چند تکه، مانع از ایجاد عایق بندی هوایی مناسب گردید. لذا برای حصول به نتیجه مناسب تر نیازمند محفظه های ریخته گری شده و یک تکه می باشد.

REFERENCES

Antmann, G., Ares, G., Lema, P., and Lareo, C. (2008). Influence of modified atmosphere packaging on sensory quality of shiitake mushrooms. *Postharvest Biology and Technology*, 49:164-170.

Arthey, D. and Dennis, C. (1991). Controlled atmosphere and modified atmosphere packaging. In: vegetable processing. PP.133-134, 149. *USA: VCH Publisher, New York*.

Exama, A., Arul, j. , Lenchi, R. and Li, Z. (1993). Suitability of various plastic films for modified atmosphere packaging of fruit and vegetables. *Journal of Food Science*. 58(6) 1365-1370.

Fabio Donato, S. , A. Genena , D. Dantela and H. Moreira. (2008). Study of banana trigger ripening for small scale process. *Brazilian archives of biology and technology*, Vol. 51, N. 5.

Fellows, PJ. (1990). Controlled and modified atmosphere storage. In: Food Processing Technology.PP. 396-371. *Ellis Horwood London.*

Kader, A. A., (1986). Bio chemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmosphere on fruits and vegetables. *Food Technology*, 40(5): 99-104.

Lopez, Briones, G., Varoquaux, p. Bureau, G., Pascat, B. (1993). Modified atmosphere packaging of common mushroom. *International Journal of Food Science & Technology*, 28(1):57-68.

Mittal, G.S. (1997). Process controls in the food industry:Problems and solutions. In Computerized Control Systemsin the Food Industry, 1-11. New York, NY*: Dekker MarcelInc*